

**Zur Differentialdiagnose von Strom- und  
Wärmeverletzungen der menschlichen Haut**

von

**UWE MICHAEL DAMS**

aus Teublitz



Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Universität Erlangen - Nürnberg  
Direktor: Professor Dr. Dr. E. Weinig

---

Zur Differentialdiagnose von Strom- und Wärme-  
verletzungen der menschlichen Haut

Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Friedrich - Alexander - Universität  
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt  
von  
Uwe Michael Dams  
aus  
Teublitz

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät  
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Professor Dr. G. Koch  
Referent: Priv.Doiz. Dr. Dr. P. Zink  
Korreferent: Professor Dr. Dr. E. Weinig

Tag der mündlichen Prüfung: 28. März 1972

## Inhaltsverzeichnis

- PROBLEMSTELLUNG
- 1. DER AUFBAU DER HAUT
  - 1.1 HAUTSCHICHTEN
    - 1.1.1 Oberhaut
    - 1.1.2 Lederhaut
    - 1.1.3 Unterhaut
  - 1.2 HAUTGEBILDE
    - 1.2.1 Haare
    - 1.2.2 Hautdrüsen
      - 1.2.2.1 Talgdrüsen
      - 1.2.2.2 Schweißdrüsen
      - 1.2.2.3 Duftdrüsen
  - 1.3 SINNESORGANE
- 2. LITERATUR ÜBER DIE DIFFERENTIALDIAGNOSE VON ELEKTRISCHEN UND THERMISCHEN HAUTLÄSIONEN
- 3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN
  - 3.1 ERZEUGUNG DER HAUTVERÄNDERUNGEN
    - 3.1.1 Stromverletzungen
    - 3.1.2 Wärmeverletzungen
  - 3.2 BEFUNDE BEIM ERZEUGEN DER HAUTVERLETZUNGEN
    - 3.2.1 Stromverletzungen
      - 3.2.1.1 Fußhaut
      - 3.2.1.2 Bauchhaut
    - 3.2.2 Wärmeverletzungen
      - 3.2.2.1 Fußhaut
      - 3.2.3.2 Bauchhaut
    - 3.2.3 Gegenüberstellung der Befunde
      - 3.2.3.1 Fußhaut
      - 3.2.3.2 Bauchhaut

- 3.3 DARSTELLUNG DER VERLETZUNGEN MITTELS ANFÄRBUNG  
DER OBERFLÄCHE
- 3.4 LUPENOPTISCHE BEFUNDE AN DEN VERLETZUNGEN IM  
QUERSCHNITT
  - 3.4.1 Stromverletzungen
    - 3.4.1.1 Fußhaut
    - 3.4.1.2 Bauchhaut
  - 3.4.2 Wärmeverletzungen
    - 3.4.2.1 Fußhaut
    - 3.4.2.2 Bauchhaut
- 3.5 HISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN
  - 3.5.1 Mikroskopische Befunde an den oberflächlich  
angefärbten Präparaten
    - 3.5.1.1 Stromverletzungen
    - 3.5.1.2 Wärmeverletzungen
  - 3.5.2 Histologische Färbung
  - 3.5.3 Befunde an den histologischen Präparaten unter  
dem Mikroskop
    - 3.5.3.1 Stromverletzungen
      - 3.5.3.1.1 Fußhaut
      - 3.5.3.1.2 Bauchhaut
    - 3.5.3.2 Wärmeverletzungen
      - 3.5.3.2.1 Fußhaut
      - 3.5.3.2.2 Bauchhaut
- 4. D I S K U S S I O N
  - 4.1 MAKROSKOPISCHE BEFUNDE AN DER OBERFLÄCHE VON STROM-  
UND WÄRMEVERLETZUNGEN
  - 4.2 LUPENOPTISCHE BEFUNDE AN QUERSCHNITTEN VON STROM-  
UND WÄRMEVERLETZUNGEN
  - 4.3 HISTOLOGISCHE BEFUNDE AN STROM- UND WÄRMEVERLETZUNGEN
- 5. Z U S A M M E N F A S S U N G
- 6. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

## PROBLEMSTELLUNG

Bei gerichtsmedizinischen Untersuchungen können Verletzungen der Haut für die Rekonstruktion von Tatabläufen Bedeutung erlangen, so bei Wunden, die durch Hieb, Stich, Sturz, Schuß ect. verursacht wurden. Eine besondere Stellung nehmen die Hautläsionen durch thermische und elektrische Energie ein, deren Unterscheidung seit Jahrzehnten zu einem vielbearbeiteten Gebiet der forensischen Medizin gehört. Wenig Schwierigkeiten bereitet die Differentialdiagnose bei großflächigen und deutlich ausgeprägten Hautveränderungen, bei kleinen Läsionen dagegen stößt die Unterscheidung von Stromverletzungen und Hautverbrennungen auf Schwierigkeiten.

Vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Problem, kleine Verletzungsstellen der Haut aufzufinden und zu klären, ob es sich um eine thermische oder um eine Stromverletzung handelt.

Im folgenden soll zunächst die feingewebliche anatomische Struktur der menschlichen Haut beschrieben werden. Danach werden anhand der Literatur die derzeitigen Erkenntnisse über die differentialdiagnostischen Kriterien der Strom- und Wärmeläsionen dargestellt. Im experimentellen Teil wird zuerst der Versuch gemacht, mittels oberflächlicher Anfärbung der Haut das Auffinden der kleinen Verletzungsstellen zu erleichtern. Weiterhin wird versucht, bei makroskopischen, lupenoptischen und histologischen Untersuchungen Möglichkeiten der Unterscheidung von Strom- und Wärmeverletzungen zu finden.

## 1. DER AUFBAU DER HAUT

### 1.1 HAUTSCHICHTEN

Die Haut besteht aus der Oberhaut, dem epithelialen Anteil und der Leder- und Unterhaut, dem bindegeweblichen Anteil. Ober- und Unterhaut bilden die Cutis, unter dieser liegt die Subcutis.

#### 1.1.1 Oberhaut

Von den genannten Hautschichten ist die Epidermis am dünnsten. Die Keimschicht, das stratum germinativum, liegt in der Tiefe der Oberhaut. Das stratum basale als unterste Zelllage der Keimschicht grenzt an die Lederhaut. Es ist einschichtig und aus hohen Zellen aufgebaut, die sich mit "Wurzelfüßchen in dem Faserfilz der Lederhaut verankern" (WALLRAFF). Bindegewebspapillen der Lederhaut ragen hoch in die Keimschicht hinauf. Die Bindegewebs- und Epithelzäpfchen kommen dadurch abwechselnd nebeneinander zu stehen, und das stratum basale erscheint im Schnittpräparat als Wellenlinie. Über dem stratum basale liegt das stratum spinosum, darüber folgt das stratum granulosum. In diesem entstehen die Keratohyalinkörper, die im stratum lucidum zerfließen und das Elaidin bilden, das die ganze Hornschicht so durchtränkt, daß sie mitsamt ihren Zellen homogen erscheint. Aus dem stratum lucidum werden die Zellen weiter peripherwärts geschoben und bilden dann die eigentliche Hornschicht. Sie besteht aus Zellschüppchen, deren Kerne verloschen sind und sich nicht mehr färben.

#### 1.1.2 Lederhaut

Das Corium ist ein gefäß- und nervenreiches kollagenes Bindegewebe. An ihm sind zwei Schichten zu unterscheiden: das stratum papillare und das stratum reticulare.

Das stratum papillare ist mit der Epidermis durch die Papillen verankert. Das Bindegewebe ist feinfaserig. Den kollagenen Fasern folgen dicke elastische Fasern. Die Endgefäße der Haut

werden bis an die Epidermis herangeführt, welche selber gefäßlos ist.

Das stratum reticulare besteht aus geflechtartigem kollagenen Bindegewebe. Die kollagenen Fasern sind dick und gebündelt, sie werden von groben elastischen Fasern begleitet. Sie laufen in allen Richtungen und sind durch abzweigende kollagene Fibrillenbündel miteinander verfilzt.

### 1.1.3 Unterhaut

Die Subcutis besteht aus lockerem Bindegewebe. Sie geht ohne scharfe Grenze in die Lederhaut über. In der Tiefe verbindet sie sich mit den Körperfascien und mit dem Periost der angrenzenden Knochen. Im größten Bereich der Körperdecke enthält sie Fettgewebe. In der Haut der Hohlhand und der Fußsohle ist das subcutane Fett Baufett, hier fehlt das lockere Bindegewebe gänzlich. Statt seiner ziehen derbe Bindegewebszapfen von der Lederhaut durch das Unterhautfett und verknüpfen dieses fest mit der Plantar- bzw. Palmaraponeurose.

## 1.2 HAUTGEBILDE

### 1.2.1 Haare

Die Haare sind verhornte Bildungen der Haut, die mit dem Haarschaft aus der Hautoberfläche frei herausragen. Die Haarwurzel steckt in der Haut und endet mit der Haarzwiebel. Diese stülpt sich über den bindegewebigen Teil des Haares, die Haarpapille. Die Haarwurzel ist vom Haarbalg umgeben.

### 1.2.2 Hautdrüsen

#### 1.2.2.1 Talgdrüsen

Man nennt sie wegen ihres Zusammenhanges mit den Haaren und wegen ihrer Gestalt Haarbalgdrüsen. Da sie von der Epithelscheide des Haares ausgehen, münden sie in die Haarkanäle, worin die Haare stecken. Eine Ausnahme machen die unverhornten

Körperstellen. Die Talgdrüsen liegen in der Lederhaut, sie fetten die Haare und die Haut ein.

#### 1.2.2.2 Schweißdrüsen

Sie liegen tiefer als die Talgdrüsen, oft bis in die Subcutis hinabreichend. Es sind tubulöse Knäueldrüsen, die in der ganzen Körperhaut verbreitet sind.

#### 1.2.2.3 Duftdrüsen

Sie sind viel weniger verbreitet als die Talg- und Schweißdrüsen. Sie kommen nur an behaarten Körperstellen vor. Ihr Schlauchdurchmesser und ihre Lichtung sind größer als bei den Schweißdrüsen.

### 1.3 SINNESORGANE

In der Haut finden sich sensible Nervenendorgane. Die Nerven dringen durch die Unterhaut und die Lederhaut bis zur Grenze von Lederhaut und Oberhaut vor. Dort bilden sie einen subepithelialen Nervenplexus. Einzelne Fasergruppen gehen bis in die Epidermis, sind aber hier marklos. Es finden sich weiter die Merckelschen Tastzellen, die Meissnerschen Körperchen und die Vater Pacinischen Körperchen. Die beiden Letzteren kommen zahlreich in der Haut der Hohlhand und der Fußsohle vor. Als Wärme- bzw. Kälterezeptoren werden die Ruffinischen Körperchen und Krauseschen Endkolben angegeben.

# LITERATUR ÜBER DIE DIFFERENTIAL - DIAGNOSE VON ELEKTRISCHEN UND THERMISCHEN HAUTLÄSIONEN

Aus der Literatur ist bekannt, daß Hitzeeinwirkung auf die Haut eine Koagulierung und Denaturierung des Eiweißes ab  $62^{\circ}\text{C}$  verursacht. Bei zunehmender Temperatur verquellen und schrumpfen die elastischen und kollagenen Fasern. Im Mikroskop erscheinen die Bindegewebsfibrillen bei thermischen Läsionen vergrößert und wie zusammengebacken, die netzförmige Verknüpfung ist aufgelockert. Es finden sich oberflächliche und verschieden tiefgreifende Defekte. Im stratum germinativum sieht man Zellausziehungen, häufig in Bürstenform angeordnet (SCHAFFNER). Bei höheren Temperaturen treten Verkohlungserscheinungen auf.

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf und in der Haut wird heute durch den Jouleschen Effekt erklärt (GERSTER, KÖPPEN, FIOCH, SCHRILDE). Es entsteht in Abhängigkeit von Stromstärke und Widerstand der durchflossenen Haut Wärme. Deswegen sind Hautläsionen durch elektrische Energie ebenfalls thermische Verletzungen. Diese Ansicht, die früher von JELLINEK, KAWAMURA und MIEREMET bestritten wurde, ist in neuerer Zeit seit den Arbeiten von FIOCH, SCHMILT und WAGNER nicht mehr anzuzweifeln. CANALE und Mitarbeiter haben dargelegt, daß mindestens 50 cal erforderlich sind, damit eine sichtbare Hautveränderung zustande kommt. Ihre phasenkontrast- und fluoreszenzmikroskopischen Untersuchungen sprechen ebenfalls für einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Intensität der Verletzung und der Stärke des Jouleschen Effektes.

Mit dem äußeren Erscheinungsbild der elektrischen Hautläsionen beschäftigte sich als erster JELLINEK ausführlich. Er beschrieb die Charakteristika und die Vielfalt der äußeren Form. Ihre Ausbildung ist von vielen Faktoren abhängig, so z.B. von der Beschaffenheit und Gestalt des Leiters, von der Entstehung der Wärme, von der zeitlichen Dauer der Einwirkung und von Verschiebungen und Bewegungen. Die Form der Läsionen ist nach JELLINEK durch das Zusammenwirken von thermischen und mechanischen

Veränderungen geprägt, die abwechselnd stärker oder schwächer sein können, so daß zusammen mit chemischen und physikochemischen Veränderungen die große Mannigfaltigkeit der Verletzungen entsteht.

Die zahlreichen Erscheinungsformen wurden eingehend von BOSCH beschrieben, der makroskopisch und lupenmikroskopisch erhebliche Variationsbreiten bei verschiedenen Stromstärken und Einwirkzeiten fand; so deutliche Verbrennungen mit Bildung von Hornschmelzperlen bis zu kleinsten punktförmigen schwarzen Verletzungen oder geringen Austrocknungserscheinungen. Grünverfärbungen wurden als Kupferoxyde bezeichnet.

FIOCH fand eine umschriebene Zerstörung der Epidermis innerhalb homogener Einschmelzung und Verwerfung der Schichten. Im Wundrandgebiet konnte er nur stellenweise Kernelongation und Zellvakuolisierung finden. Einzelne Hitzewaben waren mit Exsudat ausgefüllt, das homogen verquollene acidophile Bindegewebe war plasmatisch durchtränkt. In der Dermis beobachtete er eine negative Fermentreaktion (NADH Diaphorese). In der Epidermis erstreckte sich der Fermentausfall auf nicht sichtbar geschädigte Randgebiete mit unscharfer, zum stratum corneum ansteigend sich verbreiternder Übergangszone. Er fand keine nähere Unterscheidungsmöglichkeit zwischen Kontaktbrandwunde und elektrischer Verletzung mittels Enzymreaktionen, schrieb aber, daß das feingewebliche Bild der Metallübertragungen entscheidende Beweise dafür liefern kann.

BÖHM berichtete über seine Untersuchungen mit der Versilberungsmethode nach TIMM und kam zu dem Schluß, daß die schlierenförmige Metallisierung nicht spezifisch sei, da sie auch durch thermische Einwirkung experimentell erzeugt werden konnte.

BURIS, ZSIGMOND, SZABO und FOLÖP benutzten bei der experimentellen Herstellung von Stromverletzungen verschiedene Elektroden, wie Kupfer, Eisen, Aluminium und Zink und fanden Partikelchen, die bis in die Subcutis vorgedrungen waren. Bei den Gegenversuchen mit Brandwunden wurden keine Metallteilchen festgestellt.

Die Untersuchungen wurden auf histochemischem Wege durchgeführt, welcher eine Differentialdiagnose ermöglichte.

BÖHM beschrieb selbst bei kurzen Stromflußzeiten ( 1 sec ) eine punktförmige Metallisation mit zentraler Durchlöcherung, welche er als Lichtbogenschmelzeffekt erklärte. Vorwiegend fand er die Metallisationspunkte in den Randgebieten der Elektrodenauflageflächen, an den Haaraustrittsstellen, auch an den Haaren selbst und im Mündungsbereich der Schweißdrüsenausführungsgänge. Er wies metallisches Kupfer staubförmig im Dunkelfeld und Auflicht nach, und zwar um die Durchschlagstelle der Haut herum. Zusätzlich fand er massenhaft ionisiertes Kupfer. Bei reinen Verbrennungen wurde nur wenig ionisiertes Kupfer gefunden.

SCHMILT setzte durch Kontakt mit heißen Gegenständen qualitativ gleichartige Veränderungen wie bei Stromfluß, die Veränderungen sind jedoch in ihrer Anordnung von Stromdurchtrittsstellen zu unterscheiden. Da die Wärme im Gewebe in Abhängigkeit von der Stromdichte entsteht, welche bei flachen Elektroden an den Enden größer ist als in der Mitte, beschrieb er bei elektrischen Verletzungen die Brotform der Läsion unter dem Mikroskop, während er bei Kontaktverbrennungen die Muldenform als typisch bezeichnete. Makroskopisch betrachtet beschrieb er eine eingesunkene Kontaktfläche bei elektrischen Verletzungen. Bei längerer Flußzeit fand er auch einen ringförmigen Wall außerhalb des Kontaktes, welcher durch eine thermische Verkürzung der Bindegewebsfasern im Corium zu erklären ist. Bei schwachen Stromverletzungen traten nestförmige Bindegewebsvergrößerungen auf, was aus dem Stromlinienverlauf erklärbar ist.

BÖHM hat Untersuchungen histologischer Art über Form und Ausdehnung der Marken angestellt. Er berichtete, daß bei Versuchen mit elektrischem Strom an excidierten Hautstücken keilförmige Marken entstehen im Gegensatz zu runden bei Leichenversuchen. Er forderte nach dieser Beobachtung bei der Untersuchung von Stromdurchtrittsstellen, diese experimentell nur an der Leiche,

nicht an Hautstücken zu erzeugen. Er beschrieb bei großen Elektroden randständige Mikrostrommarken als Lichtbogeneffekt mit kugeligen Formen. Die thermische Nekrose fand er in Schüsselform mit scharfer Begrenzung, wobei er bei Serienschnitten von Strommarken astartige Verzweigungen nach der Seite und Tiefe und Lückenbildung zwischen Oberfläche und tiefergelegenen kugeligen Nekrosen feststellte. Zur differentialdiagnostischen Untersuchung unter dem Mikroskop färbte er die Marken mit Kongorot und Alcianblau, wobei die Nekrose von Kongorot angefärbt wird, das intakte Gewebe jedoch nur von Alcianblau; dieser Farbstoff ist spezifisch für saure Mukopolysaccharide. Bei stärkerem Strom gab er wie SCHMIDT die Form eines runden Brotes an, bei großen Elektroden beschrieb er die Biskuitform. Er erklärte diese Formen als verschiedene Dichte der elektrischen Stromlinien und durch Selbstisolierung des thermisch geschädigten Eiweißes. Bei stark verhornten Hautstellen waren seine Ergebnisse unterschiedlich, er konnte jedoch kugelförmige Mikronekrosen und bandförmige Verbrennungen auch außerhalb der eigentlichen Verletzungsstelle beobachten. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Gesamtform der Lichtbogeneffekte und besonders die Art der Metallübertragung eine Differentialdiagnose ermöglichen.

IMSEL berichtete bei Temperaturmessungen mit Thermoelementen im Bereich von experimentell erzeugten Stromverletzungen, daß bei schwach ausgeprägten Läsionen die Erwärmung unter dem Elektrodenrand größer ist als unter der Elektrodenmitte.

Büschelförmige Ausziehungen der Epithelien sind nach SCHAFFNER als nicht charakteristisch zu bezeichnen, da diese Ausziehung fehlen kann, besonders, wenn großflächige Elektroden benutzt werden.

Die typische Strommarke, wie sie PROKOP beschrieb, mit ihrem charakteristischen Randwall, der weißlich unterlaufen ist, und der zentralen Eindellung und Durchlöcherung mit Verfärbung und

Ablagerungen ist in dieser reinen Form selten anzutreffen. Die Verletzung kann besonders an schwach verhornten Hautstellen ganz unspezifisch erscheinen, zudem sehr klein und fast nicht zu erkennen und aufzufinden sein, vor allem wenn sie z.B. in einer Hautfalte oder an verschmutzten Stellen oder an stärker behaarter Haut liegt. Das Auffinden solcher kaum sichtbaren Veränderungen kann durch makroskopische Anfärbung erleichtert werden, da die Affinität der verletzten Haut für bestimmte histologische Farbstoffe größer ist als die der unverletzten Haut.

KOCH hat in einer Arbeit über Epidermisverletzungen festgestellt, daß einige Farbstoffe die Wundoberfläche besonders gut selektiv anfärben und so auch feinste Ausläufer der Wundbegrenzung sichtbar werden lassen. Er fertigte auch Frischschnitte an und stellte eine Eindringtiefe von 0,5 mm in die Wunde fest. Da Brandwunden in der Regel eine Epidermisverletzung darstellen, kann man sich diese Ergebnisse zunutze machen. Die Verteilung der sichtbar gemachten Marken und ihr Aussehen im Zusammenhang mit der allgemeinen Situation wird wichtige differentialdiagnostische Schlußfolgerungen erlauben. Weitere Hinweise auf die Herkunft der Verletzungen sind von einer histologischen Untersuchung der schonend excidierten Läsionen zu erwarten.

### 3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

#### 3.1 ERZEUGUNG DER HAUTVERÄNDERUNGEN

##### 3.1.1 Stromverletzungen

Entsprechend den Beobachtungen von Böhm, nach den die Veränderungen durch elektrischen Strom bei Versuchen an der Leiche im histologischen Schnittbild anders aussehen als bei excidierten Hautstücken, wurde die Stromverletzung auf den Sektions-tisch an Leichen erzeugt. Verwendet wurde normaler Haushaltsstrom von 220 V/50 Hz. Zum Teil wurde dabei von einem Lastwiderstand von 100 Ohm abgegriffen, zum Teil war ein Widerstand von einigen 100 Ohm in Reihe geschaltet. Als Elektroden wurden Kupferdrähte in einer Stärke von 0,5 und 1,0 mm benutzt.

Im ersten Versuch wurden die Drähte flach an die Bauchhaut gebracht, so daß sie diese in einer Länge von 1 cm berührten. Der Auflagedruck wurde mittels eines Gewichts von 70 g konstant gehalten. In folgender Tabelle sind einige typische Werte für verschiedene Verbrennungsgrade aufgezeichnet:

|        |         |                      |
|--------|---------|----------------------|
| 200 mA | 0,5 sec | schwache Verbrennung |
| 100 mA | 0,3 sec | schwache Verbrennung |
| 80 mA  | 1,0 sec | schwache Verbrennung |
| 250 mA | 0,5 sec | mittlere Verbrennung |
| 300 mA | 1,0 sec | starke Verbrennung   |

Die Elektrode war in allen Fällen deutlich als negativer Abdruck zu erkennen.

Im zweiten Versuch wurden die Drähte flach an die Fußsohle gebracht, wieder in einer Länge von einem Zentimeter und mit einem diesmal nur geschätzten Auflagedruck von 70 g. Der Strom schwankte um die Werte von 0,05 bis 0,07 A bei einer Flußzeit von 1 bis 5 sec. Die Elektrode war nur bei den deutlicher ausgeprägten Läsionen als negativer Abdruck zu erkennen, sonst erschienen nur ovale bis punktförmige Verletzungen.

Im dritten Versuch wurde der 1 mm starke Draht spitz gegen die Fußhaut gebracht, der Auflagedruck wurde nicht berücksichtigt, da lediglich eine deutliche Verletzung der Hornhaut erreicht werden sollte. Die Stromstärke betrug 0,01 bis 0,04 A bei einer Flußzeit von 4 bis 6 sec.

Im vierten Versuch wurde der 0,5 mm starke Kupferdraht spitz mit der Hand an die Fußsohle gebracht, wobei versucht wurde, einen nur geringen Auflagedruck zu erzeugen, da kleine bis kleinste Stromverletzungen erwünscht waren. Die Stromstärke betrug 0,02 bis 0,04 A bei 0,5 bis 1 sec.

Im fünften Versuch wurde der 0,5 mm starke Kupferdraht mit der freien Hand spitz gegen die Bauchhaut gebracht, wobei wieder kleine bis kleinste Verletzungen gesetzt werden sollten. Die Stromstärke betrug 0,08 bis 0,04 A bei 0,2 bis 0,5 sec.

Die Läsionen wurden bei jedem Versuch in einer Reihe gesetzt und anschließend in einem Abstand von 2 cm zur unverletzten Haut excidiert. Es ergaben sich Hautstreifen von etwa 4 cm Breite und 8 bis 10 cm Länge. Das subcutane Fettgewebe wurde zum großen Teil abpräpariert.

### 3.1.2 Wärmeverletzungen

Die Wärmeverletzungen wurden an den excidierten Hautstücken in einem Abstand von 1,5 cm unter den Stromläsionen erzeugt. Ein 0,5 mm starker angespitzter Kupferdraht diente als Hitzeüberträger. Er wurde zum Teil mit dem Bunsenbrenner nur bis zum Erkennen von blauen Anlauffarben, zum Teil bis zur dunklen Rotglut erhitzt und mit leichtem Druck an die Haut gebracht. Es wurde dabei versucht, vor allem kleine bis kleinste Verletzungen zu erzeugen, die den am selben Hautstück befindlichen Stromläsionen ähnlich sahen.

## 3.2 BEFUNDE BEIM ERZEUGEN DER HAUTVERLETZUNGEN

### 3.2.1 Stromverletzungen

#### 3.2.1.1 Fußhaut

Bei leichtem Berühren mit der spitzen oder flachen Elektrode stieg der Strom im Verlauf von etwa einer Sekunde auf eine Stärke von 0,03 A an, ohne daß man eine Veränderung der Hornschicht wahrnehmen konnte. Von da an schnellte der Zeiger des Ampèremeters bis 0,06 A hoch, wobei man deutlich ein Geräusch vernehmen konnte, das dem Platzen einer Blase gleichkam. Im Moment des Geräusches wurde die Elektrode entfernt. Jetzt war eine Hautveränderung sichtbar, die nur einen ganz gering ausgeprägten Randwall zeigte und deren zentraler Defekt im Vergleich zur Elektrodenauflagefläche sehr klein war und in einem Teil der Fälle gänzlich fehlte. Verkohlungserscheinungen waren nur ganz gering zu sehen. Auffallend war der große weißliche Hof um die Verletzungsstelle herum, der durch die Hornschicht durchschimmerte.

Bei größerem Auflagedruck stieg der Strom gleichmäßig schnell in etwa einer Sekunde auf eine Stärke von 0,06 A an, wonach die Elektrode sofort entfernt wurde. Die Hornschicht war dabei stärker verschmort und erschien in Richtung des diesmal groß erscheinenden zentralen Defektes zusammengezogen, wobei man auch einen stärker ausgebildeten Randwall beobachtete. Der weißliche Hof fehlte in einem Teil der Fälle gänzlich.

#### 3.2.1.1 Bauchhaut

Es genügte ein kurzzeitiges Berühren (einige Zehntel Sekunden) mit der Elektrode bei geringem Auflagedruck, damit eine sichtbare Veränderung stattfand. Die Haut zeigte Schrumpfungerscheinungen mit Randwallbildung und zentralem Defekt, der kleiner war als die Elektrodenauflagefläche. Bei einer Fluß-

zeit von etwa einer Sekunde bildeten sich kleine Blasen, die hörbar platzten. Brandgeruch stellte sich ein und der Strom stieg bis 0,06 A an. Die Verletzungsstelle war im Ganzen schwärzlich angefärbt, nur größere Blasen schimmerten weißlich.

### 3.2.2 Wärmeverletzungen

#### 3.2.2.1 Fußhaut

Der dunkelrot glühende Gegenstand hinterließ nach etwa 1 sec durchwegs einen zentralen Defekt etwa in der Größe der Auflage, die Hornschicht verschmorte ohne stärkere Schrumpfung oder Aufwerfung der umliegenden Haut. Am Rande der Verletzungsstelle bildeten sich nur in einem Teil der Fälle kleine Blasen, der Defekt war je nach Auflagedruck tiefgreifend. Die bräunliche Verkohlung des Randes war stark und setzte sich in einem Teil der Fälle in die Tiefe des Defektes fort. Der typische Verbrennungsgeruch war deutlich zu bemerken.

Der bis zum Erkennen von Anlauffarben erhitzte Gegenstand ließ nach etwa einer Sekunde an der Haut schwach sichtbare ringförmige Verkohlungen entstehen. Die Begrenzung der Verletzungsstelle war nicht blasig aufgeworfen, sondern etwas erhaben mit scharfen, steil abfallenden Rändern, so daß der Defekt wie ausgestanzt erschien und weißlich schimmerte. Der typische Verbrennungsgeruch fehlte in einem großen Teil der Fälle.

#### 3.2.2.2 Bauchhaut

Bei thermischen Läsionen mit dem dunkelrot glühenden Gegenstand verschmorte sofort (nach etwa 0,5 sec) die äußere Hautschicht und verkohlte. Am Rand der Verletzungsstelle bildeten sich kleine Bläschen, wenn die Berührungszeit etwa 1 sec betrug. Der Defekt war gut zu sehen, manchmal war er größer als der aufliegende Gegenstand, auch schien er bei nur leichtem Auflagedruck tiefgreifend zu sein. Der Defekt schimmerte weißlich,

umgeben von einer starken Randverkohlung, die benachbarte Haut war stark geschrumpft. Bei dem nur bis zum Erkennen von Anlauffarben erhitzten Gegenstand bildeten sich bei Berührungszeiten von 1 bis 2 sec. große Blasen, die hörbar platzten. Verkohlungserscheinungen waren nur ganz gering zu sehen, ein Defekt war nicht deutlich feststellbar. In allen Fällen der thermischen Verletzungen waren die Haare der engeren Umgebung mit angesengt oder gekräuselt. Die Verkohlung der Hautschichten hatte eine braune Farbe.

### 3.2.3 Gegenüberstellung der Befunde

#### 3.2.3.1 Fußhaut

Wurde bei der Stromverletzung ein geringer Druck (kleiner als 70 g) angewendet, entstand nach einer Flußzeit von etwa 1 sec ein platzendes Geräusch, wonach in einem Teil der Fälle in der Tiefe ein etwa linsengroßer weißlicher Hof beobachtet wurde. Im anderen Teil der Fälle war oberflächlich kein Defekt zu erkennen, die weißliche Verfärbung in der Tiefe war dann umso deutlicher ausgeprägt. Bei größerem Auflagedruck (70 g) war kein weißlicher Hof zu sehen, aber die Verletzungen schienen stark verkohlt mit schwärzlichem Farbton und hatten einen großen Defekt, der wie ausgestanzt erschien.

Die Wärmeverletzungen waren zum großen Teil der Fälle am Rand bräunlich verkohlt, meistens mit geringer Blasenbildung. Dafür konnten jedoch stichähnliche Defekte mit steil emporgezogenen Rändern beobachtet werden. Mit erhitzten Metallteilen waren insgesamt im Vergleich zu elektrischen Verletzungen mittels denselben Metallteilen als Elektroden die kleineren Veränderungen zu erzielen. Mit steigendem Auflagedruck nahm die Tiefe des Defektes zu.

#### 3.2.3.2 Bauchhaut

Bei Stromläsionen war der zentrale Defekt im Vergleich zur Gesamtverletzung und zur Elektrodenauflagefläche kleiner als

bei Wärmeverletzungen. Auffallend war die mehr schwärzliche Verfärbung in den Verkohlungszone der Stromverletzung gegenüber den bräunlichen Verkohlungsmassen der Wärmeläsionen. Die thermischen und elektrischen Verletzungen der Bauchhaut waren untereinander sehr ähnlich, es traten in einem großen Teil der Fälle keine oder nur ganz geringe Blasenbildungen auf, so daß lediglich punktförmige Veränderungen feststellbar waren, die wegen ihrer Kleinheit nur schwer aufgefunden werden konnten. Wichtig schien bei Wärmeverletzungen die Beteiligung der Haare der nächsten Umgebung.

Insgesamt war bei der Berührung mit heißen Metallteilen an der nur schwach verhornten Epidermis eine ausgedehnte Veränderung der obersten Hautschicht zu erzielen, während diese bei Stromverletzungen mit denselben Metallteilen als Elektroden klein blieb.

### 3.3 DARSTELLUNG DER VERLETZUNGEN MITTELS ANFÄRBUNG DER OBERFLÄCHE

Bei der rein makroskopischen Betrachtung ergeben sich schon an der ungefärbten Verletzungsstelle Unterschiede in der Gegenüberstellung von thermischen und elektrischen Verletzungen. Es ist für das gezielte Excidieren und die spätere histologische Untersuchung notwendig, die Marke deutlich darzustellen, bzw. sie überhaupt als solche aufzufinden. Dazu wurde die Anfärbung der Oberfläche mittels eines histologischen Farbstoffes benutzt. Zur selektiven Darstellung der geschädigten Hautbezirke eignen sich manche Farbstoffe, es wurde jedoch Siriusrot verwendet, vor allem wegen der späteren histologischen Färbung, die auf diesem Farbstoff basiert.

Die auf Strom- oder Wärmeverletzungen zu untersuchende Hautstelle wurde mit 5 % wässriger Lösung von Siriusrot benetzt. Die Einwirkzeit betrug etwa 15 min. Nachdem die Farbstofflösung mit einem feuchten Filterpapier abgewischt worden war, traten die Verletzungsstellen deutlich punktförmig oder oval

bis länglich rot hervor. Der Farbstoff drang in die Verletzungsstelle selektiv gut ein und wurde bei der Weiterbehandlung mit Formalin, Xylol, Alkohol und Paraffin nicht mehr ausgewaschen. Die unverletzte Haut wurde vergleichsweise nur ganz gering angefärbt. Die Läsionen konnten auf diese Art gut aufgefunden und schonend excidiert werden. Die so gewonnenen kleinen Hautstückchen wurden in Formalin fixiert.

### 3.4 LUPENOPTISCHE BEFUNDE AN DEN VERLETZUNGEN IM QUERSCHNITT

Die Hautstückchen wurden nach der Formalinfixierung dreißig Minuten gewässert und mit einem Skalpell genau in der Mitte der deutlich sichtbaren Läsion querschnitt.

#### 3.4.1 Stromverletzungen

##### 3.4.1.1 Fußhaut

Der Farbstoff Siriusrot drang etwa einen Millimeter in die Tiefe ein, er färbte die Verletzungsstelle im Bereich der wabig bis blasig veränderten Hornschicht nur unregelmäßig an. Die Läsion erschien an ungefärbten Stellen weißlich verändert gegenüber der translucennten intakten Umgebung. Der oberflächliche Defekt war gering, die Gesamtveränderung erschien im Schnitt in Kugelform. Bei sehr kleinen oberflächlichen Verletzungsstellen der Hornschicht zog ein auffallender weißlicher Schlauch durch diese in die Tiefe bis zum stratum papillare. Verkohlungen waren nur gering feststellbar.

##### 3.4.1.2 Bauchhaut

Die Anfärbung drang nur etwa einen halben Millimeter ein, blasige Veränderungen wurden nicht deutlich beobachtet, ebenso wenig Verkohlungserscheinungen. Die Verletzungsstelle war insgesamt sehr klein.

### 3.4.2 Wärmeverletzungen

#### 3.4.2.1 Fußhaut

Der Farbstoff drang etwa einen halben Millimeter in die Tiefe ein und bildete einen roten Saum entlang der muldenförmigen Veränderung. Der Defekt der oberflächlichen Hornschicht war groß. Die tieferliegenden Schichten waren erst bei stärkerem Anlegedruck der erhitzten Metallteile mitverändert, bzw. es fand sich ein Durchkanal. Gut waren die Verkohlungserscheinungen zu beobachten, die in den meisten Fällen einen bräunlichen Saum über dem rötlichen Saum des Farbstoffes Siriusrot bildeten. Wenn die Verletzungsstelle sehr klein war, sich also nur in der Hornschicht befand, war unter dem rötlichen Saum noch ein Saum von weißlich veränderter Hornhaut zu sehen.

#### 3.4.2.2 Bauchhaut

Die Verletzungsstelle war sehr klein, der Farbstoff drang etwa einen halben Millimeter ein, Verkohlungserscheinungen waren gut zu sehen. Auffallend waren die versengten und gekräuselten Haare der nächsten Umgebung.

### 3.5 HISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Hautstückchen wurden in Paraffin eingebettet. Beim Anfertigen der 15 bis 20  $\mu$  dicken Schnitte waren die geschädigten Hautpartien wegen der vorherigen Oberflächenanfärbung mit Siriusrot gut zu erkennen. Besonders deutlich war das an der Fußhaut, wo sie kräftig rot gegenüber der gelblichen Hornhaut erschienen. An der Bauchhaut hatte sich das Gewebe bräunlich verändert und war stärker geschrumpft, die sehr kleinen roten Läsionen konnten aber bei sorgfältigem Vorgehen genau bestimmt und gezielt geschnitten werden.

### 3.5.1 Mikroskopische Befunde an den oberflächlich angefärbten Präparaten

Nach der Entparaffinierung mittels Xylol wurde in Zedernöl eingedeckelt. Die Präparate waren auf dem Objektträger infolge der Lichtbrechungsverhältnisse fast nicht zu sehen, lediglich die Hautveränderung war wegen der Vorbehandlung mit dem Farbstoff Siriusrot als roter Punkt oder Strich auszumachen. Unter dem Mikroskop waren die angefärbten Stellen und die Verkohlungserscheinungen bei Übersichtsvergrößerung sehr gut zu sehen, die übrigen Hautstellen erschienen wenig kontrastreich.

#### 3.5.1.1 Stromverletzungen

An der Fußhaut fand sich im stratum papillare bei Übersichtsvergrößerung ein bräunlich dunkler Saum unter der Verletzungsstelle. Bei stärkerer Vergrößerung konnte man diesen Saum als Anhäufung kleinster Teilchen bestimmen. Mittels eines geeichten Skalenmikrometers ergab sich die Größe dieser Teilchen zu etwa  $1\ \mu$  (Abbildung 1 und 2).

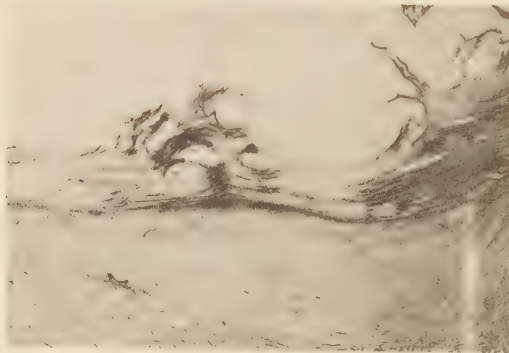


Abbildung 1: Schmäler dunkler Saum unter einer Stromverletzung der Fußhaut (Übersichtsvergrößerung)



Abbildung 2: Saum von kleinsten schwarzen Teilchen unter einer Stromverletzung der Fußhaut (starke Vergrößerung)

Auch unter der Stromverletzung der Bauchhaut waren die kleinsten schwarzen Teilchen zu finden, sie waren aber hier nicht so massenhaft und erschienen nicht als regelrechter Saum.

### 3.5.1.2 Wärmeverletzungen

Die kleinen schwarzen Teilchen waren auch bei Wärmeverletzungen der Fußhaut zu sehen, jedoch nie so gehäuft, daß sie einen Saum bildeten, an der Bauchhaut konnten nur ganz geringe Mengen der kleinen schwarzen Teilchen beobachtet werden.

### 3.5.2 Histologische Färbung

Die mittels Gelatineeiweiß auf den Objektträgern haftenden Präparate wurden 15 min in 5 %iger wässriger Lösung von Siriusrot eingestellt, anschließend zweimal 10 min in destilliertem Wasser gewaschen, dann 10 min mit 5 %iger wässriger Alcianblaulösung gegengefärbt. Nach 30 min Wässern in destilliertem Wasser wurden die Präparate in Gelatine eingedeckelt.

### 3.5.3 Verläufe an den Hinfol-Injektionsstellen unter dem Mikroskop

Zur Beurteilung waren jeweils Serien Schnitte von Kälte- und Wärmeverletzungen. Bei sämtlichen Präparaten wurde die Verletzungsstelle durch den Farbstoff Siriusrot deutlich gegen das blau angefärbte intakte Gewebe abgegrenzt. Allerdings färbte Siriusrot auch die Hornschicht und die elastischen Fasern der Lederhaut, jedoch schien die selektive Färbung ausreichend, da es mehr auf die kleinen Verletzungsstellen ankam, die nur ganz selten bis zur Lederhaut vorgedrungen waren. Was die Anfärbung der Hornschicht betrifft, so waren thermische und elektrische Läsionen in diesem Bereich auf Grund der wabigen und blasigen Veränderungen oder typischer Defekte ohne weiteres festzustellen.

#### 3.5.3.1 Stromverletzungen

##### 3.5.3.1.1 Fußhaut

Die Hornschicht war im Bereich der wabigen bis vakuoligen Zerstörung kräftiger rot angefärbt als die Umgebung. Es waren Einschlüsse von Verkohlungen innerhalb der Waben zu finden, welche als braune homogene Klumpen erschienen. Defekte der Oberfläche waren nicht tiefgreifend. Die Papillarschicht erschien unter der Verletzungsstelle nicht mehr in der gleichen regelrechten Schichtdicke und deutlichen hellblauen Farbe, sie war vielmehr gleichsam von oben eingedellt und somit auch verdichtet. Die Papillen waren nicht mehr rund mäanderrörmig, sondern zur Lederhaut hin stark abgeplattet oder spitz ausgezogen. Das gleichmäßige Hellblau der Schicht war unterbrochen von einer dunkleren, in einen violetten Ton übergehenden Farbe (Abbildung 3).

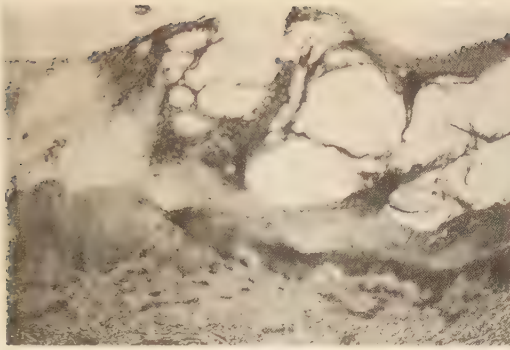


Abbildung 3: Histologisches Präparat einer Stromverletzung der Fußhaut, typische blasige Zerstörung der Hornschicht und Verfärbung der Papillarschicht (0,04 A bei 4 sec)

Bei den Präparaten vom Rand der Verletzungsstelle konnte nie ein Defekt der Oberfläche gefunden werden. Die Verletzung erschien hier in der oberen Hälfte der Hornschicht in Form von kleinen Vakuolen (Abbildung 4).

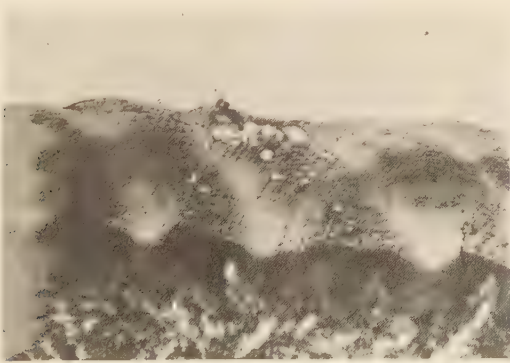


Abbildung 4: Kleine Vakuolen innerhalb der Hornschicht ohne oberflächlichen Defekt bei Stromverletzung der Fußhaut

Wenn man den Schnitt weiter zum Zentrum der Läsion verlegte, wurde zunehmend ein geringer Defekt festgestellt in Form von Zerreißen und kleinen wabigen Veränderungen der Hornschicht. Der eigentliche Defekt blieb immer nur ganz oberflächlich, es bildeten sich aber in einem großen Teil der Fälle unter diesem Defekt noch in der Hornschicht größere Vakuolen oder Waben aus. In einem Fall wurde sogar eine einzige große Vakuole beobachtet, die nur durch einen dünnen schlauchähnlichen Defekt mit der Oberfläche verbunden war (Abbildung 5).

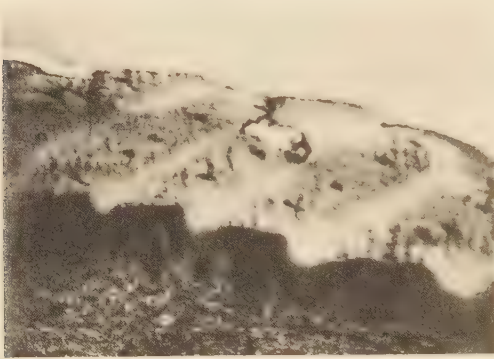


Abbildung 5: Einzelne große Vakuole mit schlauchähnlicher Verbindung zur Oberfläche der Hornschicht bei Stromverletzung der Fußhaut

Wenn bei diesen Formen die Verletzung bis in die Lederhaut reichte, so konnte in dieser eine rötliche Verfärbung festgestellt werden, und zwar genau unter dem Defekt der Hornschicht. Zur Tiefe der Lederhaut wurde die Verfärbung nicht deutlich abgegrenzt, da hier die elastischen Fasern schon zahlreich rot angefärbt waren.

Die bei der mikroskopischen Untersuchung der ungefärbten und in Zedernöl eingedeckelten Präparate beschriebene kleinste Körnelung im stratum papillare konnte nicht mehr beobachtet werden.

### 3.5.3.1.2 Bauchhaut

Die Hornschicht zeigte einen oberflächlichen Defekt mit geringen Verkohlungserscheinungen am Rand, der wallartig emporgezogen und blasig verändert war. Das stratum papillare war von oben eingedellt und verdichtet, die Violettfärbung desselben war deutlich zu sehen, bei großen Veränderungen griff sie über den Randwall hinaus. Bei Schnitten vom Rand einer Verletzungsstelle war die Oberfläche blasig verändert und aufgeworfen, entsprechend dem Randwall, und in der Tiefe wurden nur schwach ausgeprägte Papillarveränderungen gefunden. Bei Schnitten durch das Zentrum erschien ein flacher oberflächlicher Defekt mit leichten Verkohlungserscheinungen. Die Basalschicht und die obere Lederhaut waren hier stärker mitverändert im Sinne einer Verdichtung bzw. Verquellung und rötlichen Anfärbung. Bei größeren Verletzungsstellen konnte das Bild der Biskuit- oder Brotform zustandekommen, d.h. man sah zwei schüsselförmige Veränderungen, die durch eine geringgradige Läsion der Epidermis verbunden waren. Die Epidermis war teilweise aufgeworfen und von der Basalschicht abgehoben und kräftig rot angefärbt, die Lederhaut war deutlich rötlich verändert und in der Struktur verquollen. (Abbildung 6 und 7).



Abbildung 6: Aufwerfung der Epidermis und tiefreichende Veränderung der Lederhaut bei einer Stromverletzung der Bauchhaut ( 0,3 A bei 1 sec)

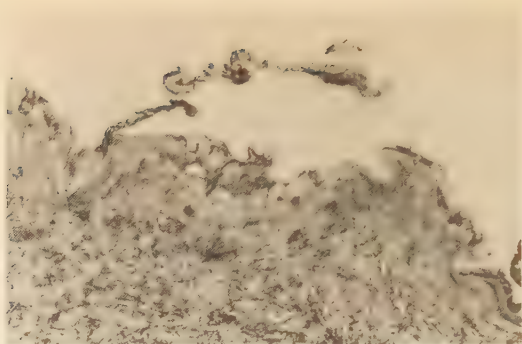


Abbildung 7: Bandartige Veränderung innerhalb der oberen Lederhaut einer schwach ausgeprägten Stromverletzung der Bauchhaut

#### 3.5.3.2 Wärmeverletzungen

##### 3.5.3.2.1 Fußhaut

Es wurde ein schüsselförmiger Defekt mit saumartig begleitenden geringen Zerreißen und kleinsten Vakuolen ohne Randwallbildung gefunden, wenn sich die Veränderung nur innerhalb der Hornschicht befand. Sobald die Verletzung tiefer reichte, konnte eine geringe Randwallbildung beobachtet werden. Der Grund des Defektes war stark rot angefärbt, er erschien als roter Saum. Wenn das stratum papillare mitverändert war, erschien es eingedellt und rötlich verfärbt. Große Mengen homogener brauner Verkohlungsmassen wurden auf der Oberfläche des Defektes vorgefunden. Bei Längsschnitten waren nur geringe Veränderungen zu sehen, es konnten jedoch deutlich braune Verkohlungspartikelchen und kleinste Zerreißen und Vakuolen in unmittelbarer Nähe der Oberfläche gefunden werden. Kam man bei der Schnittserie weiter ins Zentrum, veränderte sich nur wenig an der Gesamtform der Mulde oder Schüssel, es trat jedoch in einem Teil der Fälle, wo ein stärkerer Druck angewendet worden war, eine Art Stichkanal auf, so daß die Form des

Defekts gewissermaßen einen Negativabdruck des erhitzten Gegenstandes darstellte. Dieser Kanal durchstach das stratum papillare, und die Verletzung der Lederhaut war deutlich als rote Stelle zu sehen. Die Gesamtausdehnung der Wärmeverletzung war ganz auffälligerweise oberflächlich größer als in der Tiefe ( Abbildung 8 und 9).

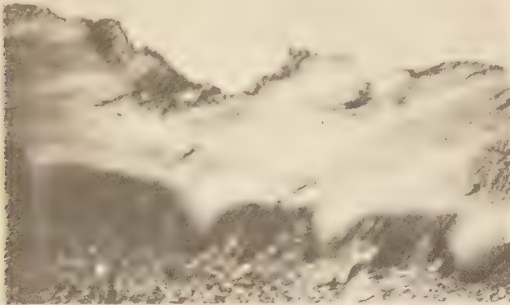


Abbildung 8: Typischer muldenförmiger Defekt der Hornschicht bei einer Stromverletzung der Fußhaut (0,03 A bei 0,5 sec)

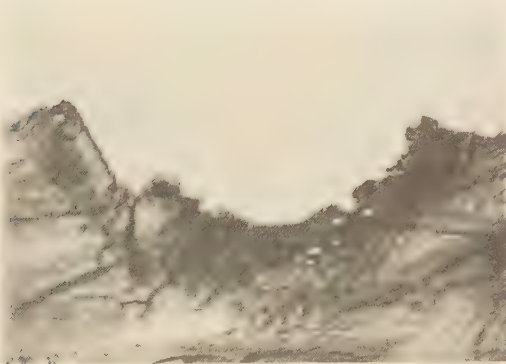


Abbildung 9: Verkohlungspartikelchen und kleinste Zerreißen am Grund des Defektes (Vergrößerung aus Abbildung 8)

### 3.5.3.2.1 Bauchhaut

Der oberflächliche Defekt war groß, es konnten starke Verkohlungserscheinungen über der Gesamtveränderung festgestellt werden. Bei ganz kleinen Veränderungen war gut ein blasig aufgeworfener Randwall zu sehen, bei den größeren Veränderungen fielen große Blasen auf, die die Epidermis abhoben. Die tieferliegenden Schichten waren nur bei den stichkanalähnlichen Verletzungen deutlich farblich verändert.

Bei Randschnitten war die Verletzungsstelle oberflächlich blasig verändert, die Papillarschicht war fast nicht beschädigt, entsprechend der reinen Muldenform der Wärmeverletzung ohne unterminierende Ausdehnung. Legte man die Schnitte weiter ins Zentrum, so erschien die Gesamtveränderung in der auffälligen Muldenform. Die blasig abgehobene Epidermis war kräftig rot angefärbt. Stärkere Veränderungen der Lederhaut waren nur bei Wärmeverletzungen mit großem Defekt der Oberfläche zu sehen. Hierbei war sie deutlich in einem rötlichen Ton gegenüber der sonst überwiegend blau angefärbten Lederhaut verändert. Die Oberfläche war stellenweise so nekrotisch, daß sie sich nicht mehr anfärbte (Abbildung 10).

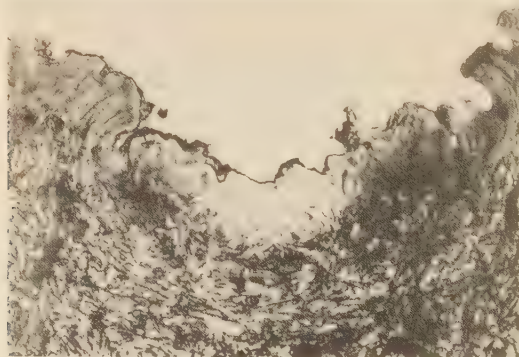


Abbildung 10: Wärmeverletzung der Bauchhaut, starker Defekt der Oberfläche, völlige Nekrotisierung im Bereich der Auflagefläche eines spitzen Gegenstandes.

#### 4. DISKUSSION

Die Unterscheidung von Verletzungsstellen der Haut, die durch elektrischen Strom und durch Wärme verursacht wurden, ist ein teilweise noch unlösbares Problem der gerichtsmedizinischen Praxis. Wegen der Ähnlichkeit der beiden Verletzungsformen bestehen Schwierigkeiten in der Differentialdiagnose, besonders bei kleinen und schwer auffindbaren Läsionen.

Über die Veränderungen der Haut beim Durchfluß elektrischen Stromes existieren zahlreiche Arbeiten. Die ersten grundlegenden Versuche und Beobachtungen über die Stromverletzung der Haut und ihre Unterscheidungsmöglichkeit von reinen Wärmeverletzungen stammen von JELLIENEK. Er hat auf Grund von makroskopischen und histologischen Untersuchungen die Ansicht vertreten, daß die Hautveränderungen durch elektrischen Strom spezifisch "elektrische" Veränderungen wären. Diese Meinung, die auch von KAWAMURA vertreten wurde, stand in Widerspruch zur Auffassung von GARSTNER, KOPPEL und SCHILLER, welche die Umsetzung elektrischer Energie in Wärme (Joulescher Effekt) beim Durchfluß eines Leiters als Ursache für die Ausbildung einer Stromverletzung beschrieben. Auch in Arbeiten aus neuerer Zeit herrscht die Meinung vor, daß eine elektrische Verletzung durch die thermische Wirkung des Stromes innerhalb des durchflossenen Gewebes verursacht wird (GABALA und Mitarbeiter, BOHM, IMSEL, PIOCH, SCHMIDT, WAGNER).

Differentialdiagnostische Kriterien zwischen Wärme- und Stromverletzungen hat in neuerer Zeit PIOCH mittels Enzymreaktionen beschrieben. Diese Reaktionen ergaben jedoch keine eindeutigen Unterscheidungsmöglichkeiten. Eine bessere Diagnose sei nach der Meinung von PIOCH auf Grund von Metallübertragungen an der Verletzungsstelle möglich, was auch BORIS, ZSIZSEONK, SZABO und POLÖP bei ihren histochemischen Untersuchungen bestätigten. BOM wies bei experimentell erzeugten elektrischen Verletzungen metallisches Kupfer an der Durchschlagstelle der Haut nach und zwar besonders in den Randgebieten der Elektrodenauflagefläche. Bei elektrischen Verletzungen mit Kupferelektroden

fand er massenhaft ionisiertes Kupfer, bei Wärmeverletzungen konnten Befunde von gleichem Ausmaß nicht erhoben werden.

BÖHM, SCHMILT und WAGNER haben bei histologischen Untersuchungen Unterschiede in der Form und Verteilung von thermischen und elektrischen Läsionen gefunden. Die thermische Verletzung ist unter der Auflagefläche des heißen Gegenstandes flach tellerförmig ausgebreitet und überschreitet in ihrem Umfang nicht wesentlich den Umfang der Auflagefläche. Die Gewebsveränderungen nehmen nach der Tiefe hin an Umfang und Stärke ab. Bei der elektrischen Verletzung dagegen entsteht die Wärme im Gewebe selbst. Die Veränderungen greifen hierbei immer über den Rand der Elektrode hinaus und werden nach der Tiefe hin breiter als sie an der Oberfläche sind. Für die Wärmeverletzung wurde die Bezeichnung "Muldenform" eingeführt, für die elektrische Verletzung "Biskuit-" oder "Brotform".

Schwierigkeiten bereitete die Diagnose besonders bei kleinen und nur schwer auffindbaren Verletzungen. Ziel der vorliegenden Arbeit war, solche punktförmigen, schlecht sichtbaren Veränderungen der Haut im Experiment deutlich makroskopisch darzustellen und anschließend auf lupenoptischem und histologischem Wege differentialdiagnostische Kriterien zu finden. Dazu wurden gemäß der Forderung von BÖHM die elektrischen Verletzungen nicht an excidierten Hautstücken, sondern an menschlichen Leichen erzeugt. In fünf Versuchsreihen wurden verschiedenen geformte Verletzungen an der Bauch- und Fußhaut hergestellt. Die elektrischen Läsionen wurden mit Haushaltsstrom von 220 V/50 Hz und 0,5 und 1,0 mm starkem Kupferdraht als Elektroden gesetzt, die Stromstärke wurde durch Widerstände (einige hundert Ohm) begrenzt. Eben erkennbare Veränderungen entstanden an der Fußsohle, wenn nach einer Stromflußzeit von 0,5 bis 1 sec ein Strom von 0,02 bis 0,04 A zu messen war. An der Bauchhaut wurden kleine Veränderungen bei einer Stromflußzeit von 0,2 bis 0,5 sec und einer Stromstärke von 0,04 bis 0,08 A beobachtet. In diesen Fällen war der 0,5 mm starke Kupferdraht als Elektrode spitz aufgelegt worden. Der Auflagedruck wurde

niedrig gehalten, da die Vergleichsversuche ergaben, daß bei Überschreiten von 70 g die Verletzungsstelle groß und deutlich sichtbar war.

Die zum Vergleich hergestellten kleinen rein thermischen Verletzungen an der Bauch- und Fußhaut wurden mit 0,5 und 1,0 mm starkem Kupferdraht, der mit dem Bunsenbrenner zum Teil auf Rotglut erhitzt, zum andern Teil nur bis zum Erkennen von Anlauffarben erwärmt worden war, etwa 2 cm neben den Stromläsionen erzeugt.

Zur Deutlichmachung der kleinen thermischen und elektrischen Verletzungsstellen, die in einem Teil der Fälle makroskopisch nur erannt werden konnten, wurde die Haut mit einer 5 %igen wasserigen Lösung des histologischen Farbstoffes Siriusrot benetzt. Dieser Farbstoff war in seiner selektiven Wirkung ähnlich den von Koch beschriebenen Farbstoffen zur Sichtbarmachung von geringgradigen mechanischen Hautverletzungen. Nach einer Einwirkzeit von 15 min und dem anschließenden Reinigen der Haut mit einem feuchten Filterpapier konnten die Strom- und Wärmeverletzungen deutlich als kleine rot gefärbte Stellen aufgefunden werden, die umgebende unverletzte Haut hatte sich nicht angefärbt.

#### 2.1 MAKROSKOPISCHE BEFUNDE AN DER OBERFLACHE VON STROM- UND WARMEVERLETZUNGEN

Es ergaben sich als auffallende Unterschiede zwischen Strom- und Wärmeverletzungen, das an der Fußsohle bei Stromeinwirkung eine größere Gesamtverletzung entstand als mittels Wärme, bei gleichen Gegenständen als Wärmeüberträger und als Elektroden. In einem großen Teil der Fälle war bei einer Stromverletzung um einen kleinen zentralen Defekt ein weißlicher Hof zu sehen, dessen Durchmesser etwa 3 mm betrug. Diese auffällige Veränderung der Haut entstand bei geringem Auflagedruck der spannungsführenden Elektrode ungefähr eine Sekunde nach dem Berühren, wobei gleichzeitig mit dem schlagartigen Ansteigen des Stromes ein Geräusch ähnlich dem Platzen einer Blase zu hören war. Bei einem

Druck von annähernd 70 g fehlte diese Erscheinung meistens, es zeigte sich jedoch ein Randwall. In diesen Fällen kam es zu einem sofortigen Eindringen der spitzen Elektrode in die Haut, die Stromstärke war schon zu Versuchsbeginn hoch. Bei großem Auflagedruck ist das Strom-Zeit-Integral bei gleicher Stromflußzeit größer als bei der nur leichten Berührung der Haut, wobei der Strom erst den relativ hohen Widerstand der Hornschicht überwinden muß, bis es zum Durchschlag und zur eigentlichen Stromverletzung kommt, welche sich in diesen Fällen mehr flächenhaft darstellt und den genannten weißlichen Hof ergibt. Der größere elektrothermische Einfluß bei höherem Anpreßdruck der Elektroden erklärt auch die stärkere Schrumpfung der Fasern des Bindegewebes, die einen Randwall der Stromläsionen verursacht (SCHMIDT). Solche Verletzungen sind nicht leicht als Stromläsionen zu erkennen, bei Betrachtung der Oberfläche sehen sie Wärmeverletzungen sehr ähnlich. Eindeutig als Stromverletzung waren die Fälle zu diagnostizieren, bei denen ein weißlicher Hof um die Durchschlagstelle zu sehen war.

In den Randgebieten der Durchschlagstellen des elektrischen Stromes waren auffallend schwarz gefärbte Verkohlungserscheinungen zu sehen, was zum Teil auf Metallisierung zurückgeführt werden kann (BÖHM, FIOCH). Vergleichsweise waren Verkohlungspartikelchen bei Hitzeverletzungen weniger schwarz, sondern mehr braun verfärbt.

Die Wärmeverletzung der Fußhaut blieb in der oberflächlichen Ausdehnung beschränkt auf die Auflagegröße des erhitzten Gegenstandes, lediglich in geringem Maße überschritt bei zu Rotglut erhitztem Kupferdraht der veränderte Hautbezirk den Auflagebereich. Die Wärmeverletzung stellte also einen Negativabdruck des aufliegenden erhitzten Gegenstandes dar, wobei immer entsprechend dem Auflagedruck ein mehr oder weniger tiefgreifender Defekt zu finden war. Es kam regelmäßig zu einem "Einschmelzen" des heißen Drahtes in die Oberhautschichten.

Im Gegensatz zu den Läsionen an der Fußsohle fiel an der Bauchhaut auf, daß die Stromverletzungen unter sonst gleichen

Bedingungen insgesamt kleiner waren als die Wärmeläsionen. Die Schrumpfung mit Randwallbildung bei Stromeinwirkung trat stärker auf als an der Fußsohle und war unabhängig vom angewandten Druck. Dies kann durch den schwachen Verhornungsgrad der Bauchhaut erklärt werden. Der elektrische Widerstand ist an der Bauchhaut niedrig. Damit geht die Erwärmung der tieferliegenden Schichten rascher vonstatten und es kommt verstärkt zur Verkürzung der elastischen und kollagenen Fasern mit der Randwallbildung an der Oberfläche.

Die Wärmeläsion stellte auch an der Bauchhaut einen Negativabdruck des aufliegenden heißen Gegenstandes dar. Bei zu Rotglut erhitztem Kupferdraht entstanden zusätzlich starke Verkohlungen und Blasen der Epidermis. Bei schwächer erhitztem Kupferdraht bildeten sich nur undeutlich erkennbare Veränderungen der Haut in Form von Blasen der Epidermis und geringer bräunlicher Verkohlung. Als charakteristisch wurde bei Wärmeverletzungen die Kräuselung und Versengung der Haare in nächster Umgebung der Läsion festgestellt. Stärkere Schrumpfung des umliegenden Gewebes, wie sie für elektrische Verletzungen typisch war, konnte nicht beobachtet werden. Die Wärmeläsionen imponierten insgesamt durch die bei der Abstrahlung der Hitze zur Seite entstandenen Blasen als groß, wenn man sie mit den Stromläsionen verglich.

#### 4.2 LUPENOPTISCHE BEFUNDE AN QUERSCHNITTEN VON STROM- UND WÄRMEVERLETZUNGEN

Zur weiteren Untersuchung kleiner Strom- und Wärmeverletzungen wurden die infolge der Oberflächenfärbung mit Siriusrot schonend und exakt excidierbaren Hautstücke in Formalin fixiert und in der Mitte der Läsion mit dem Skalpell quergeschnitten. Lupenoptisch konnte bei Fußsohlenhaut im Schnittbild ein deutlicher Unterschied der elektrischen Verletzung zur Wärmeverletzung festgestellt werden: der oberflächliche Defekt war bei der elektrischen Läsion minimal, die Hornschicht war erst in tiefer Tiefe auffallend wabig bis blasig verändert, die Anfärbung mit Siriusrot war etwa einen Millimeter eingedrungen und in

den wabigen Kammern unregelmäßig verteilt. Tiefer liegende Veränderungen schimmerten weißlich opak gegenüber der translucen-ten intakten Umgebung. Bei sehr kleinen Läsionen, bei denen die wabige Veränderung nur bis zur Hälfte der Hornschichtdicke reichte, konnte man eine weißlich opake schlauchähnliche Veränderung sehen, die zur Basalschicht zog. Dies kann den Weg des Stromes durch die Hornschicht darstellen, etwa an einer Stelle niedrigeren Widerstandes, zum Beispiel an Schweißdrü-senausführungsgängen. Insgesamt war die Läsion innerhalb der Hornschicht kugelig oder oval, wobei die Hornschicht bei lupen-optischer Betrachtung oberflächlich unverletzt erschien, bei Fällen von stärkerem Auflagedruck der Elektrode waren stich-kanalähnliche Defekte mit randständigen blasigen und wabigen Veränderungen zu sehen.

Die Wärmeverletzung wies im Vergleich dazu einen oberfläch-lich breiten Defekt auf, den Negativabdruck des Kupferdrahtes. Die Anfärbung war 0,5 bis 1,0 mm eingedrungen und bildete einen roten Saum unter einem auffallenden bräunlichen Saum von Ver-kohlungserscheinungen. Die reine Muldenform des Defektes ohne tiefreichende blasige Veränderungen der Hornschicht war charak-teristisch.

Die bei den Schnittbildern an der Fußsohle erhobenen Befun-de waren auch an der Bauchhaut zu beobachten, jedoch nicht in gleicher Deutlichkeit.

#### 4.3 HISTOLOGISCHE BEFUNDE AN STROM- UND WÄRMEVERLETZUNGEN

Die histologische Untersuchung wurde an Serienschnitten (ca. 20  $\mu$ ) der in Paraffin eingebetteten Präparate vorgenom-men. Wegen der vorangegangenen oberflächlichen Anfärbung mit Siriusrot war es möglich, im durch Fixation geschrumpften Hautstück die kleinen Läsionen exakt aufzufinden und gezielt in Serien zu schneiden. Als Vorversuch wurden die nicht zusätz-lich gefärbten Präparate mit Xylol entparaffiniert und in Zedernöl eingedeckelt. Im Mikroskop konnte bei elektrischen

Lesionen der Fußsohle waren an der eigentlichen Verletzungsstelle, die deutlich rot zu sehen war, ein schmaler brauner Saum gefunden werden, der sich noch über der eingedellten und verdichteten Papillarschicht befand. Dieser Saum bestand aus kleinsten Partikelchen, deren Größe um  $1\ \mu$  schwankte und die in ihrem Aussehen den Bestandteilen, welche regelmäßig in der mittleren Hornschicht anzutreffen sind, sehr ähnlich waren. Bei Wärmeverletzungen der Fußsohle waren diese Partikelchen nur in vereinzelt Anhäufungen zu finden.

An der Bauchhaut war diese Erscheinung bei Wärme- und Stromverletzungen nicht deutlich oder gar nicht ausgeprägt.

Die weiteren Präparate wurden mit Siriusrot und Alcianblau gefärbt. Bei dieser Färbung wurden die thermischen bzw. elektrischen Verletzungsstellen deutlich rot gegen das intakte blau angefärbte Gewebe abgegrenzt. Die lupenoptischen Befunde über die Form und Verteilung der Veränderungen wurden auch im histologischen Schnittbild bestätigt: Die elektrische Verletzung der Fußsohle war im Querschnitt oval oder punktförmig innerhalb der oberflächlich fast unverletzten Hornschicht zu finden. Die Wärmeverletzung der Fußsohle war typisch muldenförmig ausgebildet, mit einem oberflächlich breiten Defekt der Hornschicht.

Die Färbung erlaubte eine nähere Untersuchung der tiefer liegenden veränderten Schichten. Die Basalschicht war bei elektrischer und thermischer Schädigung eingedellt und in der Farbe nicht mehr rein hellblau, sondern violett (Mischfarbe aus Siriusrot und Alcianblau). Bei tiefer reichenden Verletzungen war auch die obere Schicht der Lederhaut (stratum reticulare) ins Rötliche verändert.

An der Bauchhaut konnte mit größerer Deutlichkeit als an der Fußhaut die unterminierende Ausbreitung der Stromverletzung beobachtet werden, die als Biskuitform bezeichnet wird, während bei Wärmeverletzungen nur eine muldenförmige Veränderung zu finden war. Diese unterminierende Ausbreitung der Stromverlet-

zung stimmt überein mit den Meßergebnissen von IMSEL, der bei schwach ausgeprägten Stromverletzungen mittels Thermoelementen unter dem Rand der Elektrode eine größere Erwärmung fand als unter der Elektrodenmitte.

Bei kleinen elektrischen Verletzungen der Fußsohle erreichten die Veränderungen die obere Lederhaut nur in Fällen von größerem Druck ( um 70 g). Vergleichsweise wiesen kleine elektrische Verletzungen der Bauchhaut fast immer eine Mitbeteiligung der oberen Lederhaut auf. Eine exakte Abgrenzung zur Tiefe zwischen unverletztem und geschädigtem Gewebe war bei dieser Färbung nicht möglich, da die elastischen Fasern der Lederhaut von dem Farbstoff Siriusrot angefärbt wurden.

Die histologischen Befunde über die Form und die Verteilung der Läsionen entsprachen den polarisationsoptischen Feststellungen von SCHMIDT und WAGNER. Eine Erleichterung in der Differentialdiagnose stellen die selektiven Farbstoffe dar, wie sie bereits BÖHM in der Kombination von Alcianblau und Kongorot empfohlen hat. Bei uns hat sich besonders Siriusrot und Alcianblau bewährt.

Bei der Beurteilung vorliegender Befunde ist zu berücksichtigen, daß für die Untersuchungen besonders kleine Verletzungen verwendet worden sind, wobei die elektrischen Verletzungen durch kurze Stromflußzeiten erzeugt wurden. Solche Läsionen bringen erfahrungsgemäß die größten differentialdiagnostischen Schwierigkeiten mit sich. Trotzdem war in der Regel eine eindeutige Unterscheidung möglich. Die von BÖHM angegebenen Komplikationen bei der Differentialdiagnose von Fuß- und Hohlhandverletzungen war bei der Färbung mit Siriusrot und Alcianblau nach Paraffineinbettung nicht vorhanden.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Bei makroskopischen und histologischen Untersuchungen an experimentell erzeugten kleinen Strom- und Wärmeverletzungen der menschlichen Fuß- und Bauchhaut wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- 1.) Bei niedrigem Auflagedruck der spannungsführenden Elektrode bildete sich ein weißlicher Hof um die Durchschlagstelle an der Fußsohle. Bei einem Auflagedruck größer als 70 g fehlte diese Erscheinung, dafür wurde Handwallbildung beobachtet.
- 2.) Bei Verwendung von Kupferdrähten als Elektroden oder Wärmeüberträger ist die Gesamtform der elektrischen Verletzung der Fußsohle größer als die der Wärmeverletzung. An der Bauchhaut erscheint die Wärmeverletzung insgesamt größer. Dieser Unterschied läßt sich mit der verschiedenen Stärke der Hornschicht von Fuß- und Bauchhaut erklären.
- 3.) Bei oberflächlicher Behandlung der Verletzungsstellen mit einer 5 %igen wässrigen Lösung von Siriusrot können auch kleinste Läsionen dargestellt werden.
- 4.) Bei lupenoptischer Betrachtung einer durch die Läsion geführten Schnittfläche ließen sich die elektrischen Verletzungen der Fußhaut als typische ovale Nester innerhalb der oberflächlich unverletzten Hornschicht auffinden. Bei thermischen Verletzungen finden sich flache, bei starkem Auflagedruck tiefgreifende muldenförmige bis stichkanalähnliche Läsionen.
- 5.) Nach Färbung mit Siriusrot und Alcianblau konnten im histologischen Schnitt die Läsionen der Fuß- und Bauchhaut deutlich zum gesunden Gewebe abgegrenzt werden. Die Form und Verteilung der geschädigten Bezirke erlaubte in der Regel sogar bei kleinsten Verletzungen eine sichere Unterscheidung zwischen Strom- und Wärmeverletzungen der Fußhaut. An der Bauchhaut war eine eindeutige Diagnose jedoch nur bei größeren Läsionen möglich.

## 6. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

BÖHM, E.:

Zur Frage der Differentialdiagnose zwischen thermischer und elektrischer Verbrennung.

Dtsch.Z. ges. gericht. Med. 63, 149 (1968)

BÖHM, E.:

Die Versilberungsmethode nach TIMM als Nachweisreaktion für elektrische Metallisation.

Dtsch.Z. ges. gerichtl. Med. 62, 26 (1968)

BOSCH, K.:

Makroskopische und lupenmikroskopische Untersuchungen zur Oberflächenbeschaffenheit an Strommarken.

Dtsch.Z. ges. gerichtl. Med. 56, 318 (1965)

BURIS, L., ZSIGMOND, K., SZABO, M., and FULÖP, J.:

Histochemical Examinations of Electrical Injuries.

Acta histochemica 28, 355 (1967)

CANALE, M., BANDINI, T., e A. La CAVERA :

Sulla patogenesi delle lesioni cutanee da elettricità.

Dtsch.Z. ges. gerichtl. Med. 60, 279 (1967)

IMSEL, R.:

Über die Erwärmung menschlicher Haut im Bereich der Durchtrittsstellen elektrischen Stromes.

Inaug. Diss. Erlangen 1971

JELLINEK, S.:

Die äußere Form der Strommarke.

Dtsch.Z. ges. gerichtl. Med. 1, 596 (1922)

JELLINEK, S.:

Elektrische Verletzungen.

Joh. Ambrosius Barth Verlag Leipzig 1932

AWAMURA, I.:

Leukopathologische Histologie.

Virchows Arch. path. Anat. 231, 570 (1921)

CHEN, J.:

Über die Verletzung des menschlichen Leichnam.

Inaug. Diss. Erlangen 1968

KÜPPEN, S., GERSTNER, H.:

Untersuchungen über elektrische Strommarken im Vergleich zu experimentell erzeugten Wärmeverletzungen der Haut.

Virchows Arch. path. Anat. 295, 679 (1935)

MIEREMET, C.W.G.:

Hautveränderungen durch Einwirkung des elektrischen Stromes, ihre differentialdiagnostische Bedeutung und ihr histologisches Bild.

Klin. Wschr. 2, 1962 (1923)

HOCH, W.:

Histologisch - histochemische Untersuchungen zur Identifizierung von Strommarken.

Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 57, 167 (1966)

HOCH, W.:

Zur gerichtsmedizinischen Untersuchung von Tötungsdelikten durch elektrischen Strom.

Arch. Kriminologie 142, 143 (1968)

HOCH, W.:

Histochemische Untersuchungen zur Identifizierung der Strommarken.

Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 65, 34 (1969)

PROKOP, O. und W. WEIMANN:

Atlas der gerichtlichen Medizin.

S. 278 Berlin, Volk und Gesundheit Verlag 1963.

SCHÄFFNER, M.:

Untersuchungen über Histologie und Metallisation nach elektrischer Einwirkung auf die Haut.

Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 56, 269 (1965)

SCHMIDT, G.:

Identifizierung von Stromdurchtrittsstellen.

Act. Med. leg. et Soc. 17, 50 (1964)

SCHRIDDE, H.:

Die elektrischen Strommarken der Haut.

Zbl. allgem. Path. und path. Anat. 32, 369 (1922)

SCHRIDDE, H., BEEKMANN, A.:

Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die menschliche Haut.

Virchows Arch. path. Anat. 252, 774 (1924)

WAGNER, E.:

Untersuchungen zur Diagnostik von Stromeintrittsstellen auf der menschlichen Haut.

Inaug. Diss. Erlangen 1961

WALLRAFF J.:

Leitfaden der Histologie des Menschen.

Urban und Schwarzenberg Verlag München - Berlin, 1963.

Herrn Professor Dr. Dr. E. Weinig danke ich für die Überlassung eines Arbeitsplatzes und für die Übernahme des Korreferates.

Herrn Priv. Doz. Dr. Dr. P. Zink möchte ich für die Überlassung des Themas und für die immer freundliche Beratung und Hilfe bei der Durchführung der Dissertation meinen allerbesten Dank aussprechen.

Lebenslauf

Name: Uwe Michael Dams  
geb. am: 3. Januar 1944  
in: Oppeln  
Name der Eltern: Siegfried Johannes Dams, Zahnarzt  
und Ehefrau Charlotte Johanna,  
geb. Wloka  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Ausbildung: 5 Jahre Volksschule in Teublitz,  
9 Jahre Gymnasium in Metten,  
Studium der Zahnmedizin an der Universität Erlangen - Nürnberg ohne Unterbrechung vom WS 1964/65 bis WS 1969/70  
Prüfungen: Abitur 22. Juli 1964  
Naturwissenschaftliche Vorprüfung für Zahnmedizin am 2. August 1965  
Zahnärztliche Vorprüfung am 10. März 1967  
Zahnärztliche Prüfung am 3. Juli 1970

Bestallung als Zahnarzt am 21. Juli 1970

Seit 1. September 1971 bin ich als Assistent in der väterlichen zahnärztlichen Praxis in Teublitz tätig.

Teublitz, den 8 März 1972

*Uwe Dams*





---

Buchdruckerei Ludwig Müller Erlangen Fahrstraße 5